

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-065628

(43)Date of publication of application : 09.03.1999

(51)Int.Cl.

G05B 19/408

G01B 21/20

G06T 17/00

G06F 17/50

G06T 7/60

(21)Application number : 09-220259

(71)Applicant : RIKAGAKU KENKYUSHO

(22)Date of filing : 15.08.1997

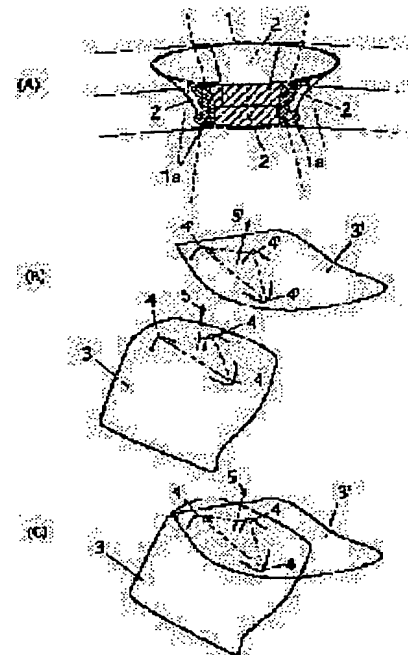
(72)Inventor : KASE KIWAMU

(54) METHOD FOR COMPOSITING MEASURED DATA OF FREELY CURVED SURFACE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prepare composite data with high precision without requiring skills by moving each parametric curved surface, so that the directions of plural featured points selected in the order of larger absolute value of the Gaussian curvature or the like of sampling points calculated from the partial measured data of an object coincide with the directions of normal vectors.

SOLUTION: The surface shape of an object 1 is measured so that partial measured data 2 including a common part 1a can be obtained, and parametric curved surfaces 3 and 3' in each measured range are prepared. Next, a Gaussian curvature $K = \kappa_1 \times \kappa_2$ and/or a mean curvature $H = (\kappa_1 + \kappa_2)/2$ are calculated from main curvatures κ_1 and κ_2 of plural sampling points set with prescribed pitches in a common part on each parameter curved surface. Then, three or more singular points 4 and 4' are selected in the order of a larger absolute values of a Gaussian curvature K or a mean curvature H of the common part, and each parametric curved surface is moved so that the directions of normal vectors 5 and 5' of a plane constituted of the three points are made coincident with the directions of the three singular points so that the common parts can be made coincident.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

03.08.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3054108

[Date of registration]

07.04.2000

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-65628

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月9日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I	
G 0 5 B 19/408		G 0 5 B 19/405	E
G 0 1 B 21/20	1 0 1	G 0 1 B 21/20	1 0 1 Z
G 0 6 T 17/00		G 0 6 F 15/60	6 2 2 A
G 0 6 F 17/50			6 2 4 A
G 0 6 T 7/60		15/62	3 5 0 A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-220259

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月15日

(71) 出願人 000006792

理化学研究所

埼玉県和光市広沢 2 番 1 号

(72) 発明者 加瀬 究

埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 理化学研究所
内

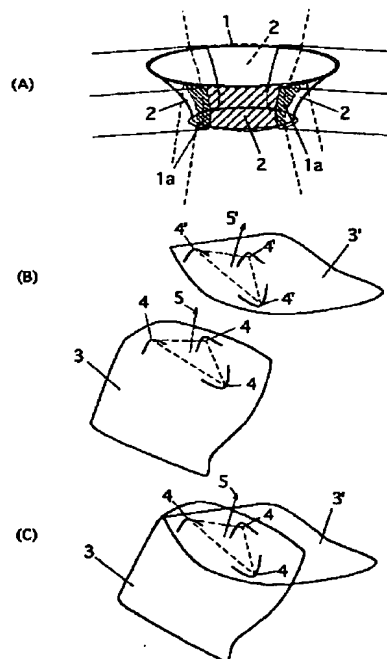
(74) 代理人 弁理士 堀田 実 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 自由曲面の測定データ合成方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 自由曲面から得られた部分測定データから、その合成データを測定データに匹敵する高い精度で作成することができる自由曲面の測定データ合成する。

【解決手段】 (a) 対象物 1 の表面形状を位置及び／又は向きを変えて測定して、共通部分 1 a を含む複数の部分測定データ 2 を取得し、(b) 複数の部分測定データから各測定範囲の表面形状をあらわすパラメトリック曲面を作成し、(c) 各パラメトリック曲面上の共通部分に所定のピッチで複数のサンプリング点を設定し、サンプリング点における主曲率 (κ_1 , κ_2) からガウス曲率 K 及び／又は平均曲率 H をそれぞれ算出し、(d) 共通部分におけるガウス曲率 K 又は平均曲率 H の絶対値が大きい順に 3 点以上の特異点を選定し、そのうち 3 点で構成される平面の法線ベクトルを算出し、(e) 3 点の特異点と法線ベクトルの向きを一致させるように各パラメトリック曲面を移動させて共通部分を一致させる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) 対象物の表面形状を位置及び／又は向きを変えて測定して、共通部分を含む複数の部分測定データを取得し、(b) 前記複数の部分測定データから各測定範囲の表面形状をあらわすパラメトリック曲面を作成し、(c) 前記各パラメトリック曲面上の前記共通部分に所定のピッチで複数のサンプリング点を設定し、該サンプリング点における主曲率 (κ_1 、 κ_2) からガウス曲率 $K = \kappa_1 \times \kappa_2$ 、及び平均曲率 $H = (\kappa_1 + \kappa_2) / 2$ をそれぞれ算出し、(d) 共通部分におけるガウス曲率 K 及び／又は平均曲率 H の絶対値が大きい順に 3 点以上の特徴点を選定し、そのうち 3 点で構成される平面の法線ベクトルを算出し、(e) 該 3 点の特徴点と法線ベクトルの向きを一致させるように各パラメトリック曲面を移動させて共通部分を一致させる、ことを特徴とする自由曲面の測定データ合成方法。

【請求項 2】 上記 (d) でガウス曲率 K 及び／又は平均曲率 H の絶対値が大きい順に 4 点以上の特徴点を選定し、そのうち任意の 3 点で構成される複数の平面の法線ベクトルを算出し、(e) 該 3 点の特徴点と法線ベクトルの向きの複数の組み合わせの差が極小化するように各パラメトリック曲面を移動させて共通部分を一致させる、ことを特徴とする請求項 1 に記載の自由曲面の測定データ合成方法。

【請求項 3】 前記主曲率 (κ_1 、 κ_2) から、

- ① $\kappa_1 \geq 0$ かつ $\kappa_2 \geq 0$ 、かつ $\kappa_1 \cdot \kappa_2 \neq 0$ の場合に、(a) 2 つの主曲率が増加していると判別し、
 - ② $\kappa_1 \leq 0$ かつ $\kappa_2 \leq 0$ 、かつ $\kappa_1 \cdot \kappa_2 \neq 0$ の場合に、(b) 2 つの主曲率が減少していると判別し、
 - ③ $\kappa_1 \cdot \kappa_2 < 0$ の場合に、(c) 一方が増加、他方が減少していると判別し、
- (a) を山、(b) を谷、(c) を峠とラベル付けし、それぞれ異なる記号又は色で画像表示して、そのラベルが一致するように各パラメトリック曲面を移動させる、ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の自由曲面の測定データ合成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、自由曲面の部分的な表面形状データからそれを張り合わせた形状データを合成する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 自動車のモックアップモデルからその表面の形状データを測定する場合のように、1 回で測定できないような広い対象物、或いは異なる方向からしか測定できない複雑な立体物の表面形状を測定する場合には、3 次元測定機（デジタイザー）を用いて対象物の各表面部分を位置や向きを変えて測定し、得られた部分測定データを合成（張り合わせ）する必要が生じる。

【0003】 かかる部分測定データの合成手段として、

従来から以下の手段が知られている。

① CRT 上に複数の部分測定データを表示させ、人間が画像を見ながら手作業で移動させ、オーバーラップ部分を一致させる（マニュアル法）。

② 測定機の回転及び並進距離を予め計測しその計測値分を逆変換する（機械計測法）。

③ インク等で白点、光点のようなマーカーをつけて位置合わせを行う（マーカー法）。

④ $Z = f(x, y)$ のような簡単な形状の場合に、その解析的曲面の未定乗数を最小自乗法等の最適化手法によりフィットさせる（解析的フィット法）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、これらの従来の部分測定データの合成手段には、次のような問題点があった。①のマニュアル法では、オペレータの熟練を要し、かつ精度の低い合成しかできない。②の機械計測法では、機械的に回転及び並進させる必要があり、測定機が大型／複雑化する。また機械のバックラッシュ等の影響を受けるため、機械精度に制限される。③のマーカー法では、マーカーが不可欠であり、マーカーが付けられない対象物には適用できない。また、マーカーを付けることによる誤差も生じうる。④の解析的フィット法は、機械精度を超え測定データと同程度の高精度が得られる特徴があるが、対象物が簡単な形状（解析的形状 $Z = f(x, y)$ ）に制限される。

【0005】 本発明は、かかる問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、機械精度に制限されることなく、かつマーカーを用いることなく、簡単な形状に制限されない自由曲面から得られた部分測定データから、熟練を要することなく、その合成データを測定データに匹敵する高い精度で作成することができる自由曲面の測定データ合成方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明の発明者は、座標系に依存しない評価モデルとして「主曲率」を用い、自由曲面の局所的な形状を 3 つのタイプ（山、谷、峠）に分類することにより、その特徴点（例えば極大点）をマーカーの代わりに用いることができることに着目した。本発明は、かかる新規の着想に基づくものである。

【0007】 すなわち本発明によれば、(a) 対象物の表面形状を位置及び／又は向きを変えて測定して、共通部分を含む複数の部分測定データを取得し、(b) 前記複数の部分測定データから各測定範囲の表面形状をあらわすパラメトリック曲面を作成し、(c) 前記各パラメトリック曲面上の前記共通部分に所定のピッチで複数のサンプリング点を設定し、該サンプリング点における主曲率 (κ_1 、 κ_2) からガウス曲率 $K = \kappa_1 \times \kappa_2$ 、及び平均曲率 $H = (\kappa_1 + \kappa_2) / 2$ をそれぞれ算出し、(d) 共通部分におけるガウス曲率 K 及び／又は平均曲

率Hの絶対値が大きい順に3点以上の特徴点を選定し、そのうち3点で構成される平面の法線ベクトルを算出し、(e)該3点の特徴点と法線ベクトルの向きを一致させるように各パラメトリック曲面を移動させて共通部分を一致させる、ことを特徴とする自由曲面の測定データ合成方法が提供される。

【0008】ガウス曲率Kは、3次元曲面の主曲率 κ_1 、 κ_2 の積 $\kappa_1 \kappa_2$ であり、① $K > 0$ の場合に、楕円的(elliptic)であり、② $K = 0$ の場合に、放物的(parabolic)であり、③ $K < 0$ の場合に、双曲的(hyperbolic、鞍型)であることがわかる。

【0009】本発明はこの自由曲面の主曲率の特性を利用したものである。すなわち、本発明の方法によれば、共通部分におけるガウス曲率K及び／又は平均曲率Hの絶対値が大きい順に3点以上の特徴点を選定し、この特徴点をマーカーの代わりに用いることにより、複数の部分測定データから得られたパラメトリック曲面の共通部分を一致させて、測定データを高精度に合成(張り合わせ)することができる。

【0010】本発明の好ましい実施形態によれば、上記(d)でガウス曲率K及び／又は平均曲率Hの絶対値が大きい順に4点以上の特徴点を選定し、そのうち任意の3点で構成される複数の平面の法線ベクトルを算出し、(e)該3点の特徴点と法線ベクトルの向きの複数の組み合わせの差が極小化するように各パラメトリック曲面を移動させて共通部分を一致させる。

【0011】この方法により、任意の3点で構成される*

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}(u, v) = \begin{bmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{bmatrix} \quad (u = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \in [a, b] \subset \mathbb{R}^2)$$

【0016】ここで、曲面上の点のデカルト座標 x 、 y 、 z はパラメータ u と v に関する微分可能な関数であり、 $[a, b]$ は、 u 、 v 平面の長方形を表す。

【0017】自由曲面 $\mathbf{X} = \mathbf{X}(u, v)$ は、パラメータ u 、 v によって表現される。(数2)は、微分幾何学における関係式であり、この関係は、例えば、"Curves and

$$E = E(u, v) = \mathbf{x}_u \cdot \mathbf{x}_u$$

$$F = F(u, v) = \mathbf{x}_u \cdot \mathbf{x}_v$$

$$G = G(u, v) = \mathbf{x}_v \cdot \mathbf{x}_v$$

$$L = L(u, v) = -\mathbf{x}_u \cdot \mathbf{n} = -\mathbf{n} \cdot \mathbf{x}_u$$

$$M = M(u, v) = -\frac{1}{2}(\mathbf{x}_u \cdot \mathbf{n}_v + \mathbf{x}_v \cdot \mathbf{n}_u) = -\mathbf{n} \cdot \mathbf{x}_{uv}$$

$$N = N(u, v) = -\mathbf{x}_v \cdot \mathbf{n} = -\mathbf{n} \cdot \mathbf{x}_v$$

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{x}_u \wedge \mathbf{x}_v}{\|\mathbf{x}_u \wedge \mathbf{x}_v\|} = \frac{1}{D} [\mathbf{x}_u \wedge \mathbf{x}_v]$$

【0019】 $\lambda = dv/du$ とすると、任意の点X

(u, v)における法曲面 κ は、数2の記述に従って数

*複数の平面とその法線ベクトルを用いて最小自乗法などの最適化手段を用いて、共通部分の差を極小化することにより、合成(張り合わせ)の精度を更に高めることができる。

【0012】また、前記主曲率(κ_1 、 κ_2)から、① $\kappa_1 \geq 0$ かつ $\kappa_2 \geq 0$ 、かつ $\kappa_1 \kappa_2 \neq 0$ の場合に、

(a)2つの主曲率が増加していると判別し、② $\kappa_1 \leq 0$ かつ $\kappa_2 \leq 0$ 、かつ $\kappa_1 \kappa_2 \neq 0$ の場合に、(b)2

つの主曲率が減少していると判別し、③ $\kappa_1 \cdot \kappa_2 < 0$ の場合に、(c)一方が増加、他方が減少していると判別し、(a)を山、(b)を谷、(c)を峠とラベル付けし、それぞれ異なる記号又は色で画像表示して、そのラベルが一致するように各パラメトリック曲面を移動させることが好ましい。

【0013】この方法を併用することにより、共通部分全体の凹凸の一致をCRT上で確認することができ、ノイズ等の影響による誤差発生を回避し、信頼性を高めることができる。

【0014】

【発明の実施の形態】先ず、本発明の方法の原理を説明する。自由曲面は、陰関数表現 $f(x, y, z) = 0$ で表現することもできるが、本発明では、より使いやすい(数1)に示すパラメータ表現を用いる。かかるパラメータ表現による曲面をパラメトリック曲面と呼ぶ。図1はパラメトリック曲面の説明図である。

【0015】

【数1】

※d Surfaces for Computer Aided Geometric Design"(Farin, G, 1988, A Practical Guide, Academic Press)に開示されている。

【0018】

【数2】

3のように表現される。

【0020】

【数3】

$$\kappa(x, t) = \kappa(\lambda) = \frac{L + 2M\lambda + N\lambda^2}{E + 2F\lambda + G\lambda^2}$$

【0021】主曲率は κ_1 、 κ_2 であり、以下の(数4)を解くことにより求められ、ガウス曲率Kは $\kappa_1 \kappa_2$ 、平均曲率Hは $(\kappa_1 + \kappa_2)/2$ とそれぞれ定義される。

【0022】

【数4】

$$\kappa^2 - (\kappa_1 + \kappa_2)\kappa + \kappa_1\kappa_2 = 0$$

$$\kappa_1\kappa_2 = \frac{LN - M^2}{EG - F^2}$$

$$\kappa_1 + \kappa_2 = \frac{NE - 2MF + LG}{EG - F^2}$$

【0023】上述した主曲率を用いることにより、自由曲面の凹凸を次のように定義することができる。すなわち、主曲率 (κ_1, κ_2) から、① $\kappa_1 \geq 0$ かつ $\kappa_2 \geq 0$ 、かつ $\kappa_1, \kappa_2 \neq 0$ の場合に、(a)2つの主曲率が20増加していると判別し、② $\kappa_1 \leq 0$ かつ $\kappa_2 \leq 0$ 、かつ $\kappa_1, \kappa_2 \neq 0$ の場合に、(b)2つの主曲率が減少していると判別し、③ $\kappa_1 \cdot \kappa_2 < 0$ の場合に、(c)一方が増加、他方が減少していると判別することができる。従って、例えば(a)を山、(b)を谷、(c)を峠とラベル付けし、それぞれ異なる記号又は色で画像表示することにより、自由曲面の凹凸を記号又は色の違いにより簡単かつ的確に把握することができる。

【0024】本発明の方法は、この主曲率の特性を利用し、測定データから共通部分の凹凸を上述のように山、谷、峠に区分し、更にそのうちで特に積及び又は和の絶対値の大きいものをマーカーの代わりに利用するものである。

【0025】図2は本発明の方法を示すフロー図、図3はその概念図である。図2に示すように、本発明の方法は、(a)～(e)の5つのステップからなる。以下この方法を図2及び図3を参照して説明する。

【0026】まず(a)図3(A)に示すように、対象物1の表面形状を位置及び又は向きを変えて測定して、共通部分1aを含む複数(この図では4つ)の部分測定データ2を取得する。この場合に、複数の部分測定データ2は必ず共通部分1aを含むように測定する。また、各部分測定データ2は同一の縮尺で取得する。なお、共通部分1aが特に狭い場合(例えば縁部等)には、その部分の測定ピッチを細かくするのがよい。

【0027】この測定は、例えば3次元測定機(デジタイザー)を用いて行う。この際、測定機の制限はなく、触針を用いた接触式であっても、レーザー光等を用いた非接触式であっても、その他の形式であってもよい。また、測定の際に、対象物1を任意に移動/回転等させる

(4)

特開平11-65628

ことができ、この場合に移動/回転量は本発明では測定の必要がない。

【0028】なお、対象物1は連続した自由表面である必要があり、例えば、外表面と内表面が分離されている場合には、それぞれ別に測定する。また、この場合には外表面と内表面の相対距離(例えば厚さ)は、別の手段で入力する必要がある。

【0029】次に、図3(B)に示すように、(b)前記複数の部分測定データ2から各測定範囲の表面形状をあらわすパラメトリック曲面3、3'を算出/作成する。この算出方法は、数1の定義にあうようにコンピュータ内でなされたものであれば制限はないが、パラメトリック曲面と各測定データとの距離が測定精度と同程度に小さいことが望まれる。

【0030】次いで、(c)各パラメトリック曲面3、3'上の共通部分(1aに相当する部分)に所定のピッチで複数のサンプリング点を設定し、各サンプリング点における主曲率 (κ_1, κ_2) からガウス曲率K及び平均曲率Hをそれぞれ算出する。この算出は、上述した数2～数4から求めることができる。サンプリング点の設定ピッチは、対象物1の測定ピッチと同等以上であるのがよい。

【0031】更に、得られた主曲率 (κ_1, κ_2) から、① $\kappa_1 \geq 0$ かつ $\kappa_2 \geq 0$ 、かつ $\kappa_1, \kappa_2 \neq 0$ の場合に、(a)2つの主曲率が増加していると判別し、② $\kappa_1 \leq 0$ かつ $\kappa_2 \leq 0$ 、かつ $\kappa_1, \kappa_2 \neq 0$ の場合に、

(b)2つの主曲率が減少していると判別し、③ $\kappa_1 \cdot \kappa_2 < 0$ の場合に、(c)一方が増加、他方が減少していると判別して、(a)を山、(b)を谷、(c)を峠とラベル付けし、それぞれ異なる記号又は色(例えば、茶色、水色、白色等)で画像表示するのがよい。

【0032】次に、(d)共通部分におけるガウス曲率K又は平均曲率Hの絶対値が大きい順に3点以上の特徴点4、4'を選定し、そのうち3点で構成される平面の法線ベクトル5、5'を算出する。なお、各部分測定データ2は同一の縮尺で取得されているため、特徴点4、4'は原理的に一致し、法線ベクトル5、5'も一致するが、それぞれの部分測定データ2を別々に測定しているため、若干の相違が生じることがある。この差は、測定誤差と同等レベルであり、実質的に同一であるものとしてデータを処理する。

【0033】次いで、図3(C)に示すように、(e)この3点の特徴点4、4'と法線ベクトル5、5'の向きを一致させるように各パラメトリック曲面3、3'を相対的に移動させて共通部分を一致させる。かかる算出及びパラメトリック曲面の移動(並進3自由度及び回転3自由度)は、パラメータ表現されたパラメトリック曲面では、周知の方法により簡単に行うことができる。この移動により、共通部分が一致した2つの部分測定データ2の合成(張り合わせ)が完了する。部分測定データ

2が3つ以上の場合には、上述した処理（特に（e））を繰り返して行うことにより、全ての部分測定データ2を合成することができる。

【0034】上述したように、本発明の方法によれば、共通部分におけるガウス曲率K又は平均曲率Hの絶対値が大きい順に3点以上の特徴点4を選定し、この特徴点4をマーカーの代わりに用いることにより、複数の部分測定データ2から得られたパラメトリック曲面3の共通部分を一致させて、測定データを合成（張り合わせ）することができる。

【0035】なお、上記（d）のステップにおいてガウス曲率K又は平均曲率Hの絶対値が大きい順に4点以上の特徴点4を選定し、そのうち任意の3点で構成される複数の平面の法線ベクトル5を算出し、（e）この3点の特徴点4と法線ベクトル5の向きの複数の組み合わせの差が極小化するように各パラメトリック曲面3を相対的に移動させて共通部分を一致させることが特に好ましい。この最適化には最小自乗法などの周知の手段を用いることができる。

【0036】このように、ガウス曲率K又は平均曲率Hの絶対値が大きい順の3点だけではなく、その他に複数の特徴点4を用いて最適化することにより、合成（張り合わせ）の精度を更に高めることができる。

【0037】なお、図3において、特徴点4は山又は谷で示しているが峠であってもよい。また、ガウス曲率K又は平均曲率Hの絶対値の大きさの他に、山、谷、峠の記号又は色（ラベル）を用い、互に対応する特徴点4が一致していることを確認するのがよい。また、上述のように、共通部分の曲面の凹凸を（a）山、（b）谷、（c）峠とラベル付けし、それぞれ異なる記号又は色で画像表示したのち、上記の方法と併用して、そのラベルの全部又は大部分が一致するように各パラメトリック曲面を移動させることが好ましい。この方法を併用することにより、共通部分全体の凹凸の一致をCRT上で確認することができ、ノイズ等の影響による誤差発生を回避し、信頼性を高めることができる。

【0038】なお、本発明は上述した実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々*

*変更できることは勿論である。また、特に特徴点がない対象物等の場合には、従来のマーカー法等を必要に応じて併用してもよい。

【0039】

【発明の効果】上述したように、本発明の方法を用いることにより、自動車のモックアップモデルからその表面形状データを測定する場合のように、1回で測定できないような広い対象物、或いは異なる方向からしか測定できない複雑な立体物の表面形状を測定する場合でも、対象物を機械的に回転又は並進させることなく、かつマーカーを用いることなく、簡単な形状に制限されない自由曲面から得られた部分測定データから、熟練を要することなく、その合成データを測定データに匹敵する高い精度で作成することができる。

【0040】従って、本発明の方法を測定機等と組み合わせることにより、各部分を分割して測定した部分測定データから全体の外観を正確に表示することができ、自動車のボディや人の顔等で見た目の良否を容易に的確に判断することができる。また、航空機等の機体形状やタービン翼のような機能部品の数値シミュレーションにおいても、接合部を滑らかにすることができ、流体流れ等の解析精度を高めることができる。

【0041】すなわち、本発明の方法は、広範囲の成形加工分野や形状測定・評価分野において、3次元測定機、CAD装置、CAM装置、或いはシミュレーション装置との組み合わせにより、広く産業上役立てることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】パラメトリック曲面の説明図である。

【図2】本発明の方法を示すフロー図である。

【図3】本発明の方法の概念図である。

【符号の説明】

1 対象物

1 a 共通部分

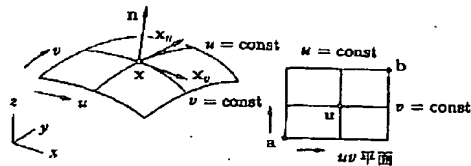
2 部分測定データ

3, 3' パラメトリック曲面

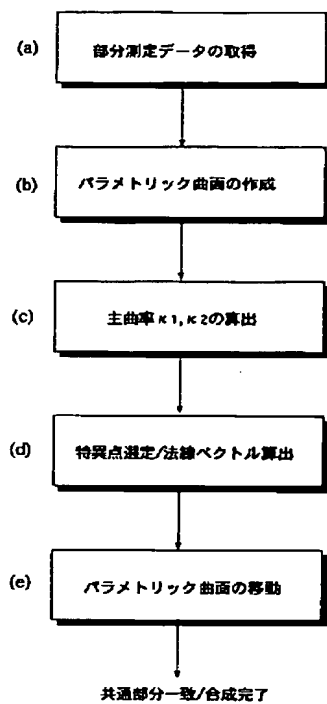
4, 4' 特徴点

5, 5' 法線ベクトル

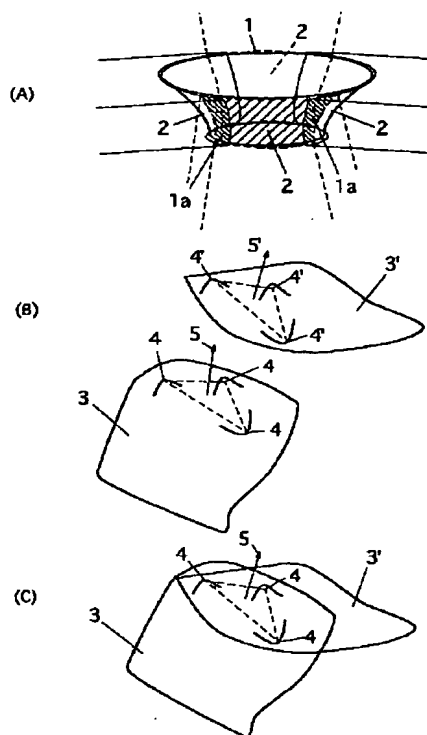
【図1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

F I

G 0 6 F 15/70

3 6 5